

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 12 月 23 日 (23.12.2004)

PCT

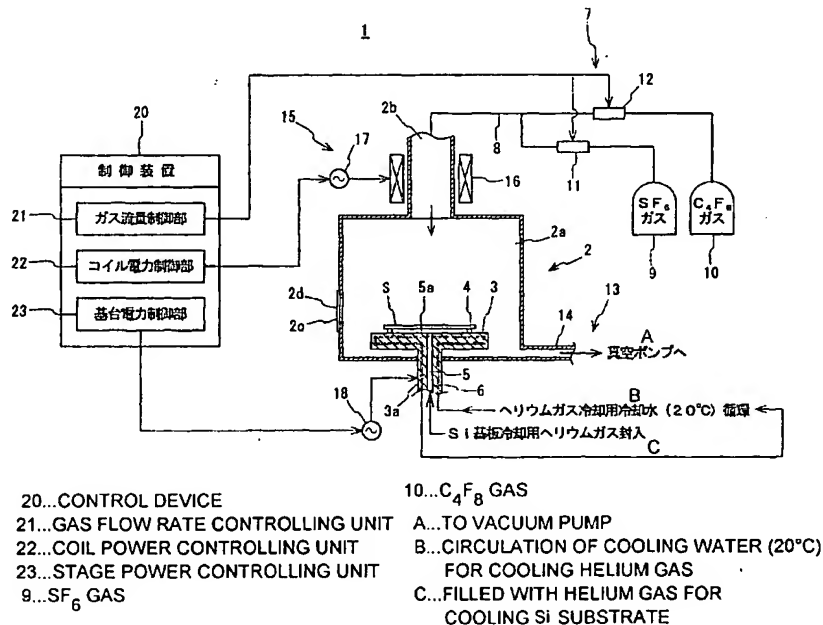
(10) 国際公開番号
WO 2004/112120 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/3065 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 村上 彰一 (MURAKAMI, Shoichi) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 笠井 一夫 (KASAI, Kazuo) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP). 池本 尚弥 (IKEMOTO, Naoya) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008264
- (22) 国際出願日: 2004 年 6 月 7 日 (07.06.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-164590 2003 年 6 月 10 日 (10.06.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友精密工業株式会社 (SUMITOMO PRECISION PRODUCTS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 1 0 号 Hyogo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,

/ 続葉有 /

(54) Title: METHOD FOR ETCHING SILICON SUBSTRATE

(54) 発明の名称: シリコン基板のエッチング方法



(57) Abstract: A method for etching a silicon substrate is disclosed wherein no residue is left even when a wide area is etched and finished side walls are generally vertical. The method comprises a mask-forming step wherein an etching mask is formed on the surface of a silicon substrate; a mounting step wherein the silicon substrate is mounted on a stage; an etching step wherein the silicon substrate surface is dry-etched through opening portions of the etching mask using an etching gas which is transformed into a plasma by high-frequency power, thereby forming a certain structured surface; and a protective film-forming step

/ 続葉有 /

WO 2004/112120 A1



LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

wherein a protective film is formed on the thus-formed structured surface using a protective film-forming gas which is transformed into a plasma by high-frequency power. In this connection, after sequentially performing the mask-forming step and the mounting step, the etching step and the protective film-forming step are alternately repeated and a high-frequency power of 100-600 KHz is applied to the stage during the etching step.

(57) 要約: 本発明は、広い面のエッチングであっても、残渣が生じることなく、しかも側壁を略垂直に仕上げることが可能なエッチング法に関する。シリコン基板表面にエッチングマスクを形成するマスク形成工程と、シリコン基板を基台上に載置する載置工程と、高周波電力によりプラズマ化したエッチングガスを用いてエッチングマスクの開口部からシリコン基板表面をドライエッチングして所定の構造面を形成するエッチング工程と、同じく高周波電力によりプラズマ化した保護膜形成ガスを用いてドライエッチングにより形成された構造面に保護膜を形成する保護膜形成工程とを含み、マスク形成工程及び載置工程を順次実施した後、エッチング工程と保護膜形成工程とを交互に繰り返して実施し、エッチング工程中、100~600 KHzの高周波電力を基台に印加する。

明 細 書

シリコン基板のエッチング方法

5 技術分野

本発明は、シリコン基板のエッチング方法に関し、さらに詳しくは、エッチンググランドの面積が、例えば、 0.25 mm^2 を超えるような広い面を、しかも 0.5 mm 以上の深さにエッチングするのに適したエッチング方法に関する。

10

背景技術

従来、エッチンググランド面（マスク開口部）が幅数 μm のラインアンドスペースパターンといった比較的狭い面を、 $10\sim500\mu\text{m}$ 程度の深さにエッチングする技術として、シリコン基板表面にエッチングマスクを形成した後、当該シリコン基板を基台上に載置し、高周波電力によりプラズマ化したエッチングガスを用いてエッチングマスクの開口部からシリコン基板表面をドライエッチングして所定の構造面を形成するエッチング工程と、同じく高周波電力によりプラズマ化した保護膜形成ガスを

15 スクを形成した後、当該シリコン基板を基台上に載置し、高周波電力によりプラズマ化したエッチングガスを用いてエッチングマスクの開口部からシリコン基板表面をドライエッチングして所定の構造面を形成するエッチング工程と、同じく高周波電力によりプラズマ化した保護膜形成ガスを

20 する保護膜形成工程とを交互に繰り返して実施し、エッチング工程においては基台に 13.56 MHz の高周波電力を印加するようにしたドライエッチング法が知られている。

エッチングガスや保護膜形成ガスは、これを高周波電力によってプラズマ化すると、イオン、電子、ラジカルなどを含むプラズマとなる。そして、エッチング工程では、エッチングガスをプラズマ化して得られるラジカルが Si と化学的に反応して、シリコン基板から Si を持ち去る

25

、即ちシリコン基板をエッチングする働きをする。また、エッチング工程中に基台に高周波電力を印加すると、プラズマ中の電子が基台側に引き寄せられて当該基台側に負の自己バイアス電圧が生じ、この自己バイアス電圧によってイオンが引き寄せられて基台上のシリコン基板のエッチンググランド面に衝突し、このイオンの衝突によってエッチンググランド面が物理的にエッチングされる。尚、ラジカルによるエッチングは等方的であり、イオンによるエッチングは異方的である。

斯くして、エッチング工程では、ラジカルによる化学的なエッチングとイオンによる物理的なエッチングとが同時に進行して、マスク開口部を通してシリコン基板表面がエッチングされ、所定幅及び深さの穴（溝）が形成される。

一方、保護膜形成工程では、保護膜形成ガスが上記のようにプラズマ化されることによって、プラズマ中のラジカル等から重合物が生成され、生成された重合物が上記エッチングによって形成された穴の底面（エッチンググランド）及び壁面に堆積して、当該底面及び壁面にこの重合物による膜が形成される。この膜は、エッチングガスから生成されるラジカルと反応せず、ラジカルに対する保護膜として作用し、この保護膜によって壁面のサイドエッチングやアンダーカットが防止される。尚、エッチンググランドに形成された保護膜は、続くエッチング工程におけるイオン照射によってエッチングされ、除去される。

このように、上記従来のエッチング法では、エッチング工程と保護膜形成工程とを交互に繰り返して実施することにより、エッチングによって順次形成される壁面が保護膜によって被覆され、続くエッチング工程においては、この保護膜によってサイドエッチングやアンダーカットが防止され、この結果、壁面が垂直なトレンチ（深溝）を、効率よくシリコン基板上に形成することができる。

ところで、近年、第2図乃至第4図に示すようなマスク原盤100を、リソグラフィ工程で使用する試みがなされている。このマスク原盤100は、露光のための開口部105を有する格子状のシリコン構造物（リブ状構造物）104によって、マスク（又はレチクル）101を支持した構造を備えており、上面にレジスト膜111が塗布されたシリコン基板110の上方に配置されて、リソグラフィに供される。

かかる構造のマスク原盤100は、第5図に示すように、例えば、エッチングストップとしての酸化シリコン（ SiO_2 ）膜103をシリコン基板Sの一方面（第5図では下面）に形成し、この酸化シリコン膜103上にマスク101を形成した後、シリコン基板Sの他方の面（第5図では上面）に格子状のマスク106を形成し、次いで、マスク106側からドライエッチングを施して、第5図に示すように、穴107（開口部105）を形成し、しかる後、穴107の底部の酸化シリコン膜103をウェットエッチングによって除去することにより得られる。

そして、従来、このマスク原盤100を製造する際の前記エッチングにも、上述したエッチング法の適用が試みられている。尚、前記穴107の開口面積（開口部105の面積と同じ）は 0.25mm^2 以上と極めて広く、その深さも 0.5mm 以上と極めて深い。

ところが、上記従来のエッチング法は、上述した如く、ラインアンドスペースパターンのようにエッチンググランド面が幅数 μm 程度と比較的狭い面のエッチングには適しているものの、前記シリコン構造物104のエッチングのように、エッチンググランドが 0.25mm^2 を超えるような広い面積を有する場合には、必ずしも、適したエッチング法であるとは言えないものであった。

即ち、エッチンググランド面積の小さい、言い換えれば、マスクの開口面積の小さいトレンチエッチングでは、エッチンググランドに引き込

まれるラジカルが減少し、保護膜の堆積量が少ないため、比較的残渣が発生し難いが、エッチンググランドの面積が大きい場合には、エッチンググランドに堆積する保護膜が厚く、これを取り除くには、相応の高いエネルギーを持ったイオンのエッチングが必要であり、エネルギーが不十分な場合には残渣が発生する。第6図に示すように、この残渣108は、
5 穴107の側壁107a底部に生成され易く、後のウェットエッチングにおいても除去されないため、後のリソグラフィ工程で、転写パターンの形状精度が悪くなるという不具合を生じる。

したがって、上記のような残渣108が生じないようにする必要があるが、上記従来のエッチング法における改善の一つの手立てとして、基
10 台に印加する電力を上げて自己バイアスの電圧を高くし、これによりイオンによる衝突エネルギーを高めて、エッチンググランドに形成された保護膜を完全に取り除くといったことが考えられるが、この場合には、前記残渣108の問題は解消されるものの、その一方で、第7図に示すよ
15 うに、斜めに照射されるイオンによって、穴107の側壁107aがエッチングされ、リブ104の形状が悪くなる、即ち、リブ104の厚みが穴107の底部でかなり薄くなり、その強度が低くなるという問題がある。

尚、基台に印加する電力を下げれば、イオンの衝突エネルギーが弱まる
20 ため、イオンの斜め照射によって穴107の側壁107aがエッチングされるのを抑制することができ、当該側壁107aを略垂直に形成することができるが、即ち、リブ104の厚みを穴107の深さ方向に略均一にすることができるが、この場合には、上記のように、穴107の側壁107a底部に残渣108が生じる。

25 このように、上記従来のエッチング法では、面積の広い面をエッチングする場合、側壁107aの形状を重視すれば残渣108が生じ、残渣

108が生じないようにすれば、側壁107aの形状が悪くなるという問題を生じ、両者を同時に満足することができないのである。

本発明は、以上の実情に鑑みなされたものであって、面積が0.25mm²を超えるような広い面のエッチングであっても、残渣が生じることなく、しかもエッチングによって形成される側壁を略垂直に仕上げる
5 ことが可能なエッチング法の提供を、その目的とする。

発明の開示

上記目的を達成するための本発明は、シリコン基板表面にエッチング
10 マスクを形成するマスク形成工程と、前記シリコン基板を処理チャンバ内に搬入して該処理チャンバ内の基台上に載置する載置工程と、前記処理チャンバ内にエッチングガスを供給するとともに、前記処理チャンバの外部近傍に配設されたコイルに高周波電力を印加して該エッチングガスをプラズマ化し、プラズマ化したエッチングガスにより前記エッチング
15 グマスクの開口部から前記シリコン基板表面をドライエッチングして所定の構造面を形成するエッチング工程と、前記処理チャンバ内に保護膜形成ガスを供給するとともに、前記コイルに高周波電力を印加して該保護膜形成ガスをプラズマ化し、プラズマ化した保護膜形成ガスにより前記ドライエッチングで形成された構造面に保護膜を形成する保護膜形成
20 工程とを含み、前記マスク形成工程及び載置工程を順次実施した後、前記エッチング工程と保護膜形成工程とを交互に繰り返して実施するように構成されたシリコン基板のエッチング方法において、

前記エッチング工程中、100～600KHzの高周波電力を前記基台に印加するようにしたことを特徴とするシリコン基板のエッチング方
25 法に係る。

上述したように、エッチング工程において、基台に13.56MHz

の高周波電力を印加する従来のエッチング法では、高周波電源の電位変化に対するイオンの追従性が悪く、イオンは電子の移動によって生じる自己バイアス電圧によってシリコン基板側に移動する。他方、電子の移動によって生じる電荷の蓄積はエッチングによって形成された穴の側壁の保護膜表面においても生じ、これは印加電力の増加に伴って増加する。したがって、大面積のエッチングの際に、エッチンググランドの保護膜を除去すべく高い電力を印加すると、上記側壁保護膜表面の電荷に引き寄せられたイオンが側壁保護膜に衝突してこれを破壊してしまうため、結果として当該側壁の形状が悪化することになる。

そこで、本発明では、エッチング工程において基台に印加される高周波電力の周波数を100～600KHzに設定した。この周波数の範囲では、高周波電源の電位変化に対するイオンの追従性が良いため、低い印加電力においても十分にエッチンググランドの除去が行える。更には、イオンが幅広いエネルギー分布を持ち、エネルギーの低いイオン（正電位）は前記側壁保護膜を破壊することなく表面上の電子の蓄積（負電位）を中和する。この結果として、エッチンググランドに堆積した保護膜を選択的に除去することが可能で、当該側壁の形状の悪化も極めて少ない。

このため、イオンの照射はより異方的となって、その直進性が良好となり、エッチンググランドに対し略垂直に照射されるイオンの数が増加して、エッチンググランドにおけるエッチング作用が強められ、残渣が生じ難くなる。

一方、直進性が高まることによって、斜めに照射されるイオンの数が減少し、これに伴って、穴の側壁に照射されるイオンが減少し、当該側壁のイオンによるエッチングが軽減され、良好な壁面、即ち、略垂直な壁面が形成される。

斯くして、エッチング工程中に基台に印加される高周波電力の周波数を100～600KHzの範囲に設定した本発明によれば、イオンの追従性及び直進性を高めることができ、エッチンググラウンドが0.25mm²以上と極めて広く、その深さも0.5mm以上と極めて深いエッチング構造物であっても、その壁面の直角性が良好で、しかも、底面に残渣の無いエッチング構造物とすることができる。

尚、前記周波数が600KHzよりも高いと、上述したようにイオンの追従性が悪くなるとともに、直進性が悪くなり、側壁に衝突するイオン数が増して側壁の形状が悪化し、また残渣も多くなる。一方、100KHzよりも低いと、イオンの追従性、直進性については問題ないが、マスク選択比が悪くなり、マスクが大きく損傷することになる。

また、基台に印加する高周波電力は、5～50Wの範囲が好ましい。50Wを超えると、イオンによる衝突エネルギーが高くなりすぎ、若干存在する斜め照射のイオンによって、側壁がエッチングされ、その形状が悪化するからであり、5Wを下回ると、イオンの衝突エネルギーが低くなりすぎ、残渣が発生するからである。

また、前記コイルに印加する高周波電力は、1000～5000Wの範囲が好ましく、この範囲内であれば、プラズマ化されたエッチングガスや保護膜形成ガスのプラズマ密度を高くして、イオン、電子、ラジカルなどを効率的に生成することができるので、エッチングや保護膜の形成を効率的に行って、壁面の直角性を向上させたり、残渣を生じ難くすることができる。尚、更に好ましい範囲としては、2000～5000Wの範囲であり、この範囲内であれば、エッチング速度を上げることもできる。

また、前記エッチングガスにはSF₆ガスを用いるのが好ましく、前記保護膜形成ガスにはC₄F₈等のフロロカーボンガス(C_xF_y)を

用いるのが好ましい。そして、エッチング工程において、処理チャンバ内に供給される SF_6 ガスの流量は、 $350 \sim 1000 \text{ ml/min}$ の範囲が好ましく、処理チャンバ内の SF_6 ガス圧力は、 $2.0 \sim 7.0 \text{ Pa}$ の範囲が好ましい。また、保護膜形成工程において、処理チャンバ

5 内に供給されるフロロカーボンガスの流量は、 $150 \sim 500 \text{ ml/min}$ の範囲が好ましく、処理チャンバ内のフロロカーボンガス圧力は、 $2.0 \sim 7.0 \text{ Pa}$ の範囲が好ましい。この範囲内であれば、エッチンググランドの面積が大きくても、当該エッチンググランドの全領域におけるラジカルやイオンの分布を略均一にすることができる。

10 これにより、エッチング工程では、エッチンググランド全域を均一にエッチングすることができるとともに、より一層残渣が発生するのを防止することができ、保護膜形成工程では、壁面に均一な保護膜を形成することができ、壁面の直角性を高めることができる。

15 図面の簡単な説明

第1図は、本実施形態に係るエッチング装置の概略構成を一部ブロック図で示す断面図である。また、第2図は、一例に係るマスク原盤の拡大断面図であり、第3図は、第2図に示したマスク原盤の全体に係る断面図であり、第4図は、第3図に示したマスク原盤の裏面図である。また、第5図は、マスク原盤の製造方法を説明するための説明図である。

20 また、第6図及び第7図は、従来のエッチング法における問題点を説明するための説明図である。

発明を実施するための最良の形態

25 以下、本発明をより詳細に説明するために、添付図面に基づいてこれを説明する。

まず、本実施形態に係るエッチング装置の構成について第 1 図に基づき説明する。尚、第 1 図は本実施形態に係るエッチング装置の概略構成を一部ブロック図で示す断面図である。

第 1 図に示すように、このエッチング装置 1 は、セラミックからなり、内部に上下に連通状態で並設されたプラズマ生成室 2 b 及びエッチング室 2 a を備えた筐体状のエッチングチャンバ 2 と、前記エッチング室 2 a 内の下部領域に配設され、被エッチング物たるシリコン基板 S が載置される基台 3 と、エッチングチャンバ 2 内にエッチングガス及び保護膜形成ガスを供給するガス供給部 7 と、エッチングチャンバ 2 内を減圧する減圧部 1 3 と、プラズマ生成室 2 b 内に供給されたエッチングガス及び保護膜形成ガスをプラズマ化するプラズマ生成部 1 5 と、前記基台 3 に高周波電力を印加する高周波電源 1 8 と、これら各部の作動を制御する制御装置 2 0 とを備えている。

前記基台 3 上には、シリコン基板 S が O リング 4 などのシール部材を介して載置される。基台 3 はその基部 3 a がエッチング室 2 a 外に導出されるように設けられており、その中心部には、基台 3 とシリコン基板 S との間に形成された空間 5 a に通じる連通路 5 が設けられ、この連通路 5 を通して前記空間 5 a 内にヘリウムガスが充填、封入されている。

また、基台 3 には冷却水循環路 6 が形成されており、この冷却水循環路 6 内を循環する冷却水（ $-10 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ）により、前記基台 3 及びヘリウムガスを介して、前記シリコン基板 S が冷却されるようになっている。また、この基台 3 は、上下方向に移動可能となっており、更に、前記高周波電源 1 8 により所定の高周波電力が印加される。

前記ガス供給部 7 は、前記エッチングチャンバ 2 のプラズマ生成室 2 b に接続されたガス供給管 8 と、このガス供給管 8 にそれぞれマスフローコントローラ 1 1、1 2 を介して接続されたガスボンベ 9、1 0 とか

らなり、マスフローコントローラ 11, 12 により流量調整されたガスがガスポンペ 9, 10 からプラズマ生成室 2b 内に供給されるようになっている。尚、ガスポンペ 9 内にはエッチング用の SF_6 ガスが充填され、ガスポンペ 10 内には保護膜形成用の C_4F_8 ガスが充填されている。

前記減圧部 13 は、前記エッチング室 2a の下端部に接続された排気管 14 と、この排気管 14 に接続された図示しない真空ポンプとからなり、この真空ポンプ（図示せず）によってエッチングチャンバ 2 内が所定の低圧に減圧されるようになっている。

前記プラズマ生成部 15 は、前記プラズマ生成室 2b の外周に沿って配設されたコイル 16 と、このコイル 16 に 13.56 MHz の高周波電力を印加する高周波電源 17 とからなり、コイル 16 に高周波電力を印加することによりプラズマ生成室 2b 内の空間に変動磁場が形成され、プラズマ生成室 2b 内に供給されたガスがこの変動磁場によって誘起される電界によってプラズマ化されるようになっている。

また、前記制御装置 20 は、前記マスフローコントローラ 11, 12 を制御し、ガスポンペ 9, 10 からエッチング室 2a 内に供給されるガス流量を調整するガス流量制御部 21 と、前記コイル 16 に印加される高周波電力を制御するコイル電力制御部 22 と、前記基台 3 に印加される高周波電力を制御する基台電力制御部 23 とからなる。

尚、前記エッチングチャンバ 2 には、シリコン基板 S を出し入れするための開口部 2c が形成されており、この開口部 2c はシャッタ 2d によって開閉されるようになっている。

次に、以上の構成を備えたエッチング装置 1 によりシリコン基板 S をエッチングするその態様について説明する。尚、本例では、第 5 図に示したシリコン基板 S をエッチングして、第 2 図乃至第 4 図に示すような

マスク原盤 100 を製造するものとする。

まず、第 5 図に示すように、シリコン基板 S のエッチング面とは反対面に、エッチングストッパとしての酸化シリコン (SiO_2) 膜 103 を形成し、この酸化シリコン膜 103 の上にマスク 101 を形成した後、シリコン基板 S のエッチング面に格子状のマスク 106 を形成する。

次いで、酸化シリコン膜 103、マスク 101 及びマスク 106 の形成されたシリコン基板 S を、マスク 106 側を上にして前記開口部 2c からエッチングチャンバ 2 内に搬入し、リング 4 を介して基台 3 上に載置する。この後、連通路 5 から空間 5a 内にヘリウムガスが充填、封入されるとともに、基台 3 が上昇端位置に移動せしめられる。尚、冷却水循環路 6 内の冷却水は絶えず循環されている。

ついで、減圧部 13 によってエッチングチャンバ 2 内が減圧され、コイル 16 に 13.56 MHz の高周波電力が印加された状態で、以下のエッチング工程と保護膜形成工程とが所定時間づつ交互に繰り返される。

A. エッチング工程

エッチング工程では、エッチングチャンバ 2 内の圧力が、2.0 ~ 7.0 Pa の範囲内で適宜設定された圧力に調整され、 SF_6 ガスがガスポンプ 9 からプラズマ生成室 2b 内に供給されるとともに、基台 3 に高周波電力が印加される。

そして、 SF_6 ガスの流量は 350 ~ 1000 ml/min の範囲内で適宜設定された流量に調整される。また、コイル 16 に印加される高周波電力は、1000 ~ 5000 W の範囲内で、更に好ましくは 2000 ~ 5000 W の範囲内で適宜設定された電力となるように調整される。また、基台 3 に印加される高周波電力は、その周波数が 100 ~ 600 KHz の範囲内で適宜設定された周波数、且つ 5 ~ 50 W の範囲内で

適宜設定された電力となるように調整される。

プラズマ生成室 2 b 内に供給された S F₆ ガスは、コイル 1 6 に上記高周波電力を印加することによって誘起された電界によりプラズマ化されて、フッ素ラジカル、イオン、電子などを含むプラズマとなり、減圧部 1 3 の排気作用によって順次エッチング室 2 a 内に流入する。

そして、エッチング室 2 a 内に流入したフッ素ラジカルは、マスク 1 0 6 の開口部からシリコン基板 S と接触して S i と化学的に反応し、シリコン基板 S から S i を持ち去る、即ちシリコン基板 S をエッチングする働きをする。

また、基台 3 には、周波数が 1 0 0 ~ 6 0 0 K H z の範囲内にある高周波電力が印加されているので、高周波電源（即ち、基台 3）の電位変化に対してイオンが容易に追従して、即ち、基台 3 が負の電位となったときに、プラズマ中に存在する正のイオンがこれに引き寄せられてシリコン基板 S 側に移動し、マスク 1 0 6 の開口部からシリコン基板 S の表面に衝突して、この衝突エネルギーによりシリコン基板 S 表面がエッチングされる。

更に、上記のように基台 3 に高周波電力を印加することで、プラズマ中の電子がシリコン基板 S 側に引き寄せられて当該シリコン基板 S 側に負の自己バイアス電圧が生じる。この自己バイアス電圧によっても、プラズマ中の正のイオンが引き寄せられてシリコン基板 S 側に移動し、マスク 1 0 6 の開口部からシリコン基板 S の表面に衝突して、当該シリコン基板 S 表面がエッチングされる。

尚、本例において、基台 3 に印加する高周波電力の周波数を 1 0 0 ~ 6 0 0 K H z の範囲に設定したのは、周波数が 6 0 0 K H z よりも高いと、基台 3 の電位変化があまりにも速いので、言い換えれば、基台 3 が負の電位にある時間があまりにも短いので、プラズマ中の正イオンがシ

リコン基板Sに到達する前に基台3の電位が正となり、これによって正イオンが反発してシリコン基板Sから遠ざかるといった追従性の悪い状態となり、イオン照射によるエッチング作用が、上記自己バイアス電圧に頼ったものとなって、当該エッチング作用が弱まり、残渣が発生し易くなるからである。また、イオンの追従性が悪くなると、イオンの移動方向が乱れて、即ち、シリコン基板Sに対して垂直に移動するイオンの数が減って、シリコン基板Sに対して斜めに移動するイオンが増加し、エッチングによって形成された穴の壁面に斜め照射のイオンが衝突して、当該壁面がエッチングされ、穴側壁の形状が悪化するという問題もある。

逆に、高周波電力の周波数が100KHzよりも低いと、上述したイオンの追従性及び直進性については問題ないが、照射されるイオンの数が増して、マスク選択比が悪くなり、マスクが損傷を受ける。

斯くして、基台3に印加する高周波電力の周波数を100～600KHzの範囲に設定することで、エッチングによって形成された穴の側壁がイオン照射によってエッチングされるのを防止することができるとともに、穴底面（エッチンググラウンド）ではより効率的にこれをエッチングすることができ、エッチング速度を高めることができるとともに、残渣が発生するのを防止することができるのである。

また、基台3に印加する高周波電力を5～50Wの範囲内としたのは、50Wを超えると、イオンによる衝突エネルギーが高くなりすぎ、若干存在する斜め照射のイオンによって、穴の側壁がエッチングされ、その形状が悪化するからであり、5Wを下回ると、イオンの衝突エネルギーが低くなりすぎ、残渣が発生するからである。

また、コイル16に印加する高周波電力を1000～5000Wの範囲内としたのは、この範囲内であれば、プラズマ化されたSF₆ガスの

プラズマ密度を高くすることができるので、フッ素ラジカル、イオン、電子などを効率的に生成して、残渣を生じ難くしたり、壁面の直角性を向上させることができるからである。尚、更に好ましい範囲である2000～5000Wの範囲内であれば、エッチング速度を上げることもできる。

また、 SF_6 ガスの流量を350～1000ml/minの範囲内とし、エッチングチャンバ2内の圧力を2.0～7.0Paの範囲内としたのは、エッチンググラウンドの面積が大きくても、当該エッチンググラウンドの全領域におけるラジカルやイオンの分布を略均一にすることができるため、エッチンググラウンド全域を均一にエッチングすることができるのと同時に、残渣が発生するのを防止することができるからである。

以上のように、エッチング工程では、フッ素ラジカルによる化学的なエッチングとイオンによる物理的なエッチングとが同時に進行して、マスク106の開口部を通してシリコン基板S表面がエッチングされ、所定幅及び深さの穴（溝）が形成される。

B. 保護膜形成工程

一方、保護膜形成工程では、エッチング工程と同様に、エッチングチャンバ2内の圧力が、2.0～7.0Paの範囲内で適宜設定された圧力に調整され、 C_4F_8 ガスがガスポンプ10からプラズマ生成室2b内に供給されるとともに、基台3への高周波電力の印加が停止される。

そして、 C_4F_8 ガスの流量は150～500ml/minの範囲内で適宜設定された流量に調整される。また、コイル16に印加される高周波電力は、1000～5000Wの範囲内で、更に好ましくは2000～5000Wの範囲内で適宜設定された電力となるように調整される。

プラズマ生成室2b内に供給された C_4F_8 ガスは、コイル16に上

記高周波電力を印加することによって誘起された電界によりプラズマ化されて、ラジカル（フッ素ラジカルなど）、イオン、電子などを含むプラズマとなり、減圧部 13 の排気作用によって順次エッチング室 2 a 内に流入する。

5 そして、エッチング室 2 a 内に流入したプラズマ中のラジカル等から重合物が生成され、生成された重合物が上記エッチングによって形成された穴の底面（エッチンググランド）及び壁面に堆積して、当該底面及び壁面にこの重合物による膜（フロロカーボン膜）が形成される。この
10 フロロカーボン膜は、フッ素ラジカルと反応せず、フッ素ラジカルに対する保護膜として作用し、後に実行されるエッチング工程において、等方的にエッチングするフッ素ラジカルによって、壁面がエッチングされるのを防止する。また、エッチンググランドに形成された保護膜は、続くエッチング工程におけるイオン照射によってエッチングされ、除去される。

15 尚、上記のように、コイル 16 に印加する高周波電力を 1000～5000W の範囲内としたのは、プラズマ化された C_4F_8 ガスのプラズマ密度を高くすることができるので、ラジカル、イオン、電子などを効率的に生成して、前記保護膜を効率的に形成することができるからであり、更に好ましくは 2000～5000W の範囲内である。

20 斯くして、上記エッチング工程と保護膜形成工程とを順次交互に繰り返して実行することにより、エッチングによって順次形成される壁面が保護膜によって被覆され、続くエッチング工程においては、この保護膜によってサイドエッチングやアンダーカットが防止され、この結果、壁面が垂直な穴を、効率よくシリコン基板上に形成することができる。

25 そして、エッチング工程中に基台 3 に印加される高周波電力の周波数を、100～600KHz の範囲に設定することで、イオンの追従性及

び直進性を高めることができ、また、5～50Wの範囲とすることで、イオンの直進性を更に高めることができ、エッチンググランドが0.25mm²以上と極めて広く、その深さも0.5mm以上と極めて深いエッチング構造物であっても、その壁面の直角性が良好で、しかも、底面に残渣の無いエッチング構造物とすることができる。

また、エッチング工程及び保護膜形成工程において、コイル16に印加する高周波電力を1000～5000Wの範囲内とすることで、プラズマ化されたSF₆ガスやC₄F₈ガスのプラズマ密度を高くして、イオン、電子、ラジカルなどを効率的に生成することができるので、エッチングや保護膜の形成を効率的に行って、壁面の直角性を向上させたり、残渣を生じ難くすることができる。尚、更に好ましい範囲としては、2000～5000Wの範囲であり、この範囲内であれば、エッチング速度を上げることでもある。

また、エッチング工程及び保護膜形成工程におけるエッチングチャンバ2内の圧力を2.0～7.0Paの範囲とし、SF₆ガスの流量を350～1000ml/minの範囲内とすることで、エッチンググランドの面積が大きくても、その全域におけるラジカルやイオンの分布を略均一にすることができ、エッチンググランド全域を均一にエッチングすることができるとともに、より一層残渣が発生するのを防止する。また、同様に、C₄F₈ガスの流量を150～500ml/minの範囲内とすることで、エッチンググランドの全域におけるラジカルやイオンの分布を略均一にすることができるため、壁面に均一なフッ素カーボン膜を形成することができ、壁面の直角性を高めることができる。

因みに、実施例1として、エッチングチャンバ2内の圧力をエッチング工程では5Paとし、保護膜形成工程では2.5Paとし、SF₆ガスの流量を550ml/minとし、C₄F₈ガスの流量を300ml

／minとし、コイル16に印加される高周波電力を13.56MHz、1000Wとし、基台3に印加される高周波電力を380kHz、12Wとした条件で、マスク106の開口面積を1.0mm²として、シリコン基板Sを深さ0.5mmまでエッチングしたところ、エッチング速度は3μm/min、側壁の角度θ（第7図参照）は90.5°、レジスト選択比は36、エッチンググランドの表面粗さ（Ra）は0.002μmで、残渣は認められなかった。

また、実施例2として、上記実施例1における基台3に印加される高周波電力を380kHz、12Wから100kHz、10Wに変更し、
10 他は実施例1と同条件として、同様に、シリコン基板Sをエッチングしたところ、側壁の角度θが90.1°、レジスト選択比が32となり、また、エッチング速度やエッチンググランドの表面粗さ（Ra）は、上記実施例1の場合と同様であり、残渣は認められなかった。

更に、実施例3として、上記実施例1における基台3に印加される高周波電力を380kHz、12Wから600kHz、30Wに変更し、
15 他は実施例1と同条件として、同様に、シリコン基板Sをエッチングしたところ、側壁の角度θが91.9°、レジスト選択比が41となり、また、エッチング速度やエッチンググランドの表面粗さ（Ra）は、上記実施例1の場合と同様であり、残渣は認められなかった。

20 また、実施例4として、上記実施例1におけるコイル16に印加される高周波電力を1000Wから2500Wに変更し、他は実施例1と同条件として、同様に、シリコン基板Sをエッチングしたところ、エッチング速度が5μm/minに向上し、また、側壁の角度θやレジスト選択比、エッチンググランドの表面粗さ（Ra）は、上記実施例1の場合
25 と同様であり、残渣は認められなかった。

一方、比較例として、エッチングチャンバ2内の圧力をエッチングエ

程では5Paとし、保護膜形成工程では2.5Paとし、SF₆ガスの流量を550ml/minとし、C₄F₈ガスの流量を300ml/minとし、コイル16に印加される高周波電力を13.56MHz、1000Wとし、基台3に印加される高周波電力を13.56MHz、50Wとした条件で、同じくマスク106の開口面積を1.0mm²として、シリコン基板Sを深さ0.5mmまでエッチングしたところ、エッチング速度は3μm/min、側壁の角度θは92.4°、レジスト選択比は45、エッチンググランドの表面粗さ(Ra)は0.8μmとなり、側壁底部には残渣が認められた。

10 かかる実施例1~4と比較例とを対比すると、本例のエッチング方法により、エッチンググランドが広く、深さも深いエッチングであっても、壁面の直角性が良好で、しかも、底面に残渣の無いエッチングを行うことができ、また、コイル16に印加する高周波電力を上げることで、エッチング速度を向上させることができることが容易に理解される。

15 尚、上記評価において、側壁の角度θについては、シリコン構造物の寸法制御の観点から90.0°以上、強度制御の観点から92.0°以下を好ましい範囲とし、レジスト選択比については、厚さ20μmのレジストマスクで深さ500μm以上のエッチングが可能な30以上を好ましいものとし、エッチンググランドの表面粗さ(Ra)については、
20 エッチング前のシリコン基板Sの表面粗さと同等の0.002μm以下を好ましいものとした。

斯くして、このようにして製造されたマスク原盤100は、そのリブ構造物の厚みが均一で適度な強度があり、また、残渣が存在しないことから、これを用いて、リソグラフィ工程でレジスト膜に転写した回路パターンは、その形状精度が極めて良好なものとなる。
25

以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明が採り得る具

体的な態様は、何らこれに限定されるものではない。例えば、上例では、出力電力が5～50Wの範囲で調整可能な高周波電源18を用いたが、50W以上の出力電力を有する高周波電源しか無い場合には、パルス生成器によって生成されたパルス信号によって高周波電源の出力をON
5 /OFFし、そのデューティー比を適宜設定することにより、高周波電源から出力される実効電力を5～50Wの範囲内となるように調整して、基台3に印加するようにしても良い。

産業上の利用可能性

- 10 以上のように、本発明にかかるエッチング方法は、エッチンググラウンドの面積が、例えば、0.25mm²を超えるような広い面を、しかも0.5mm以上の深さにエッチングする際に、好適に用いることができる。

請 求 の 範 囲

1. シリコン基板表面にエッチングマスクを形成するマスク形成工程と、前記シリコン基板を処理チャンバ内に搬入して該処理チャンバ内の基
5 台上に載置する載置工程と、前記処理チャンバ内にエッチングガスを供給するとともに、前記処理チャンバの外部近傍に配設されたコイルに高周波電力を印加して該エッチングガスをプラズマ化し、プラズマ化したエッチングガスにより前記エッチングマスクの開口部から前記シリコン
10 基板表面をドライエッチングして所定の構造面を形成するエッチング工程と、前記処理チャンバ内に保護膜形成ガスを供給するとともに、前記コイルに高周波電力を印加して該保護膜形成ガスをプラズマ化し、プラズマ化した保護膜形成ガスにより前記ドライエッチングで形成された構造面に保護膜を形成する保護膜形成工程とを含み、前記マスク形成工程及び載置工程を順次実施した後、前記エッチング工程と保護膜形成工程
15 とを交互に繰り返して実施するように構成されたシリコン基板のエッチング方法において、

前記エッチング工程中、 $100 \sim 600 \text{ KHz}$ の高周波電力を前記基台に印加するようにしたことを特徴とするシリコン基板のエッチング方法。

- 20 2. 前記エッチング工程中に前記基台に印加する高周波電力を、 $5 \sim 50 \text{ W}$ の範囲に設定したことを特徴とする請求の範囲第1項記載のシリコン基板のエッチング方法。

3. 前記エッチング工程及び保護膜形成工程中に前記コイルに印加する高周波電力を、 $1000 \sim 5000 \text{ W}$ の範囲に設定したことを特徴とする請求の範囲第1項記載のシリコン基板のエッチング方法。
25

4. 前記エッチング工程及び保護膜形成工程中に前記コイルに印加する

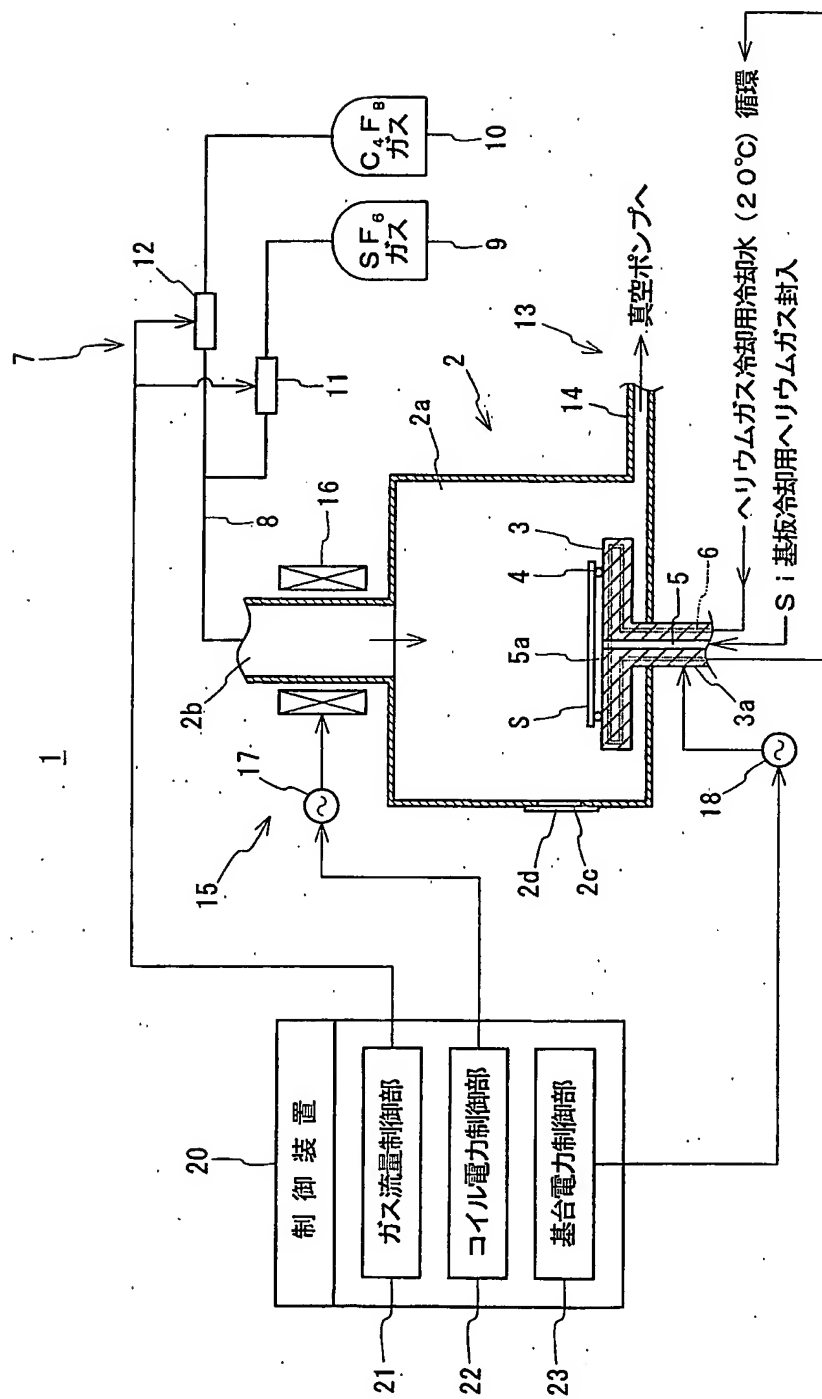
高周波電力を、2000～5000Wの範囲に設定したことを特徴とする請求の範囲第1項記載のシリコン基板のエッチング方法。

5. 前記エッチングガスに SF_6 ガスを用い、前記保護膜形成ガスにフロロカーボンガスを用いたことを特徴とする請求の範囲第1項乃至第4項記載のいずれかのシリコン基板のエッチング方法。

6. 前記エッチング工程において、前記処理チャンバ内に供給される SF_6 ガスの流量を350～1000ml/min、前記処理チャンバ内の SF_6 ガス圧力を2.0～7.0Paとし、前記保護膜形成工程において、前記処理チャンバ内に供給されるフロロカーボンガスの流量を150～500ml/min、前記処理チャンバ内のフロロカーボンガス圧力を2.0～7.0Paとしたことを特徴とする請求の範囲第5項記載のシリコン基板のエッチング方法。

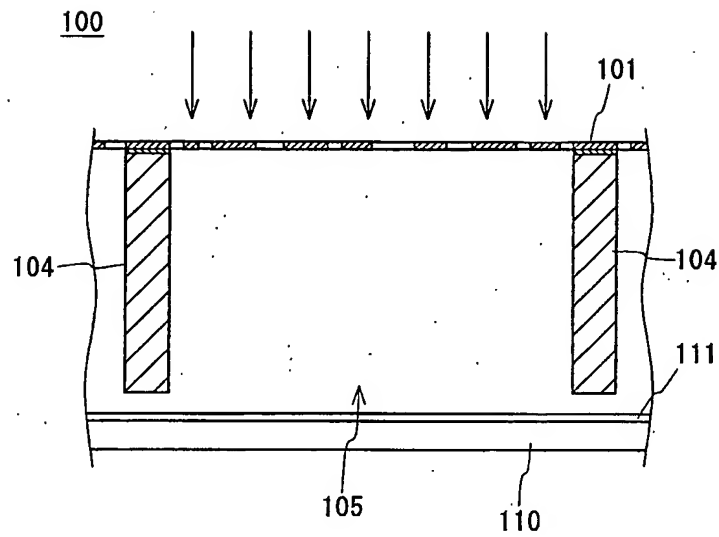
1/4

第1図

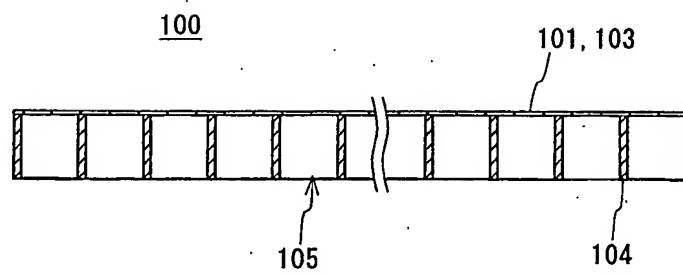


2/4

第2図

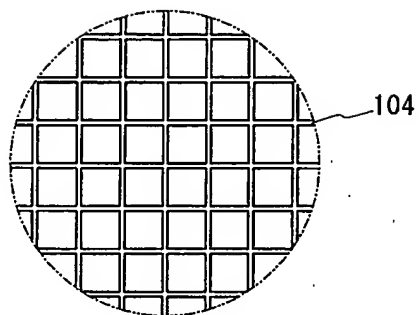


第3図

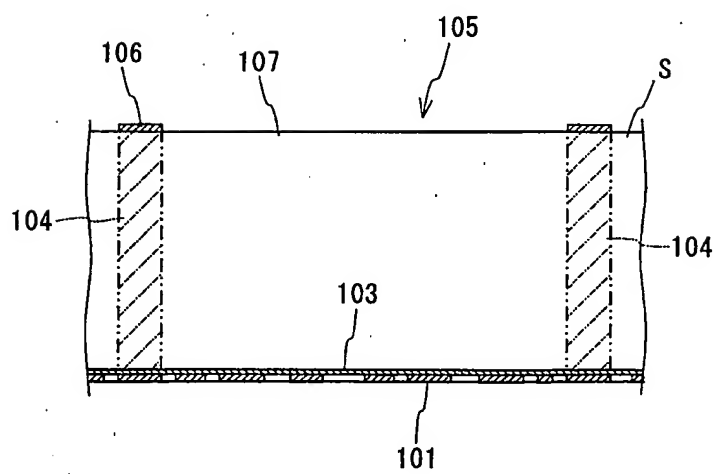


第 4 図

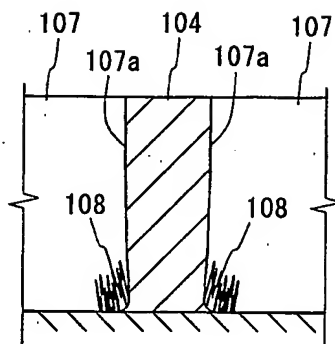
100



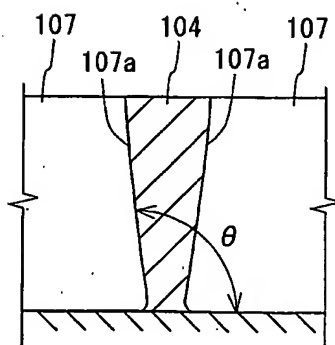
第 5 図



第 6 図



第 7 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008264

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L21/3065

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/3065

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-092286 A (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 28 March, 2003 (28.03.03), Par. Nos. [0012] to [0075] (Family: none)	1-6
Y	JP 08-017807 A (Hitachi, Ltd.), 19 January, 1996 (19.01.96), Par. Nos. [0009] to [0123] (Family: none)	1-6
A	JP 2002-176182 A (Denso Corp.), 21 June, 2002 (21.06.02), Par. Nos. [0021] to [0065] (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 August, 2004 (18.08.04)Date of mailing of the international search report
31 August, 2004 (31.08.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008264

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 08-181125 A (NEC Corp.), 12 July, 1996 (12.07.96), Par. Nos. [0006] to [0016] (Family: none)	1-6
A	JP 2001-257198 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 21 September, 2001 (21.09.01), Par. Nos. [0010] to [0060] (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H01L 21/3065

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. ⁷ H01L 21/3065

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-092286 A, (住友精密工業株式会社) 2003. 03. 28, 段落番号【0012】 - 【0075】, (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 08-017807 A, (株式会社日立製作所) 1996. 01. 19, 段落番号【0009】 - 【0123】, (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2002-176182 A, (株式会社デンソー) 2002. 06. 21, 段落番号【0021】 - 【0065】, (ファミリーなし)	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 08. 2004

国際調査報告の発送日

31. 8. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

今井 拓也

4 R

3339

電話番号 03-3581-1101 内線 3469

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 08-181125 A, (日本電気株式会社) 1996. 07. 12, 段落番号【0006】－【0016】, (ファミリーなし)	1－6
A	JP 2001-257198 A, (松下電器産業株式会社) 2001. 09. 21, 段落番号【0010】－【0060】, (ファミリーなし)	1－6